

ВЕКТОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ СИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ ПО ДАТЧИКАМ ХОЛЛА

Коробатов Д.В.¹, Кульмухаметова А.С.¹

¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет), г. Челябинск
Российская Федерация, kul@inbox.ru

Аннотация — предложен относительно простой алгоритм векторного управления синхронным электромеханическим преобразователем (ЭМП) с использованием сигналов дискретных датчиков положения (датчиков Холла) для оценки и корректировки положения ротора в процессе управления.

Ключевые слова — векторное управление, вентильный электродвигатель.

ВВЕДЕНИЕ

В современном вентильном электроприводе с повышенными требованиями к стабильности частоты вращения рекомендуется применять векторное управление [1]. Однако, реализация векторного управления по определению, требует знания углового положения ротора с точностью, гораздо более высокой, чем обеспечивают дискретные датчики Холла, которые, как правило, уже встроены в большинство выпускаемых для вентильных электродвигателей (ВД) синхронных ЭМП. Для определения положения ротора необходимо либо устанавливать дополнительный датчик положения (энкодер), либо предусматривать высокоточные измерения напряжений и токов в обмотках двигателя для последующей реализации алгоритмов «бездатчикового» вычисления углового положения ротора [2]. Первый способ зачастую приводит к существенному усложнению конструкции, а второй — к значительному усложнению управляющей электроники электропривода. Предлагаемый алгоритм обеспечивает большинство возможностей, присущих векторному управлению (высокая эффективность, точность, стабильность частоты вращения) без усложнения аппаратной части электропривода с дискретной коммутацией обмоток ВД.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Электромеханический преобразователь (ЭМП) вентильного электродвигателя является, по своей сути, синхронной электрической машиной, поэтому, синхронный режим работы является для него наиболее естественным. В этом режиме электромагнитный момент, развиваемый ЭМП, определяется выражением:

$$M = Ik\Phi \sin \varphi, \quad (1)$$

где k — конструктивный коэффициент;

Φ — магнитный поток в воздушном зазоре ЭМП;

$\varphi = \varphi_c - \varphi_p$ — угол, определяемый положением ротора относительно вращающегося поля статора;

φ_p — угол поворота ротора;

φ_c — угол поворота вектора поля статора.

Анализируя (1), несложно убедиться, что при отклонении угла φ относительно нулевого значения (в пределах $\pm 0,5\pi$), возникает приращение электромагнитного момента ЭМП, стремящееся вернуть ротор в исходное положение, соответствующее $\varphi=0$. Другими словами, внутри ЭМП уже имеется контур регулирования угла φ , причем жесткость регулирования пропорциональна конструктивному коэффициенту k и величине потока Φ , которая, в свою очередь, пропорциональна величине тока в обмотках ЭМП — обмотке статора и обмотке возбуждения при ее наличии. Таким образом, если сформировать вращающееся поле статора по закону

$$\varphi_c = \omega_{\text{зад}} t + \varphi_0, \quad (2)$$

где $\omega_{\text{зад}}$ — заданная частота вращения ротора;

φ_0 — начальное значение угла на МКИ, и обеспечить выполнение условия:

$$-\frac{\pi}{2} \leq \varphi \leq \frac{\pi}{2} \quad (3)$$

то получим стабилизированный по частоте вращения электропривод с астатизмом по скорости. При этом величина пульсаций мгновенной скорости зависит от колебаний момента сопротивления вращению и может быть уменьшена путем увеличения тока в обмотках ЭМП.

С другой стороны, увеличение тока будет снижать энергетическую эффективность привода [3]. Поэтому, при уменьшении момента нагрузки необходимо уменьшать ток статора для сохранения эффективности

ЭМП и наоборот, увеличивать ток при увеличении момента нагрузки во избежание выхода ЭМП из синхронизма. Для решения этой задачи предлагается включить в систему управления контур регулирования тока статора. С точки зрения реализации очень удобен тот факт, что постоянная времени контура регулирования тока может быть достаточно большой, это даже необходимо, чтобы процесс регулирования тока не отражался на колебаниях мгновенной скорости. Следовательно, интервал временной дискретности в контуре регулирования тока вполне может быть привязан к интервалу между сигналами от дискретных датчиков Холла. Основная задача контура регулирования тока — поддержание такого тока в обмотке статора, который бы обеспечивал среднее значение угла нагрузки равным 90 эл. град.:

$$\varphi_{\text{ср}} \approx \pi/2, \quad (4)$$

при этом мгновенное значение, может существенно колебаться, как следует из (1). Следует отметить, что классический алгоритм позиционной коммутации [4] также обеспечивает выполнение равенства (4), но только другим путем — подстройкой вектора поля статора под положение ротора, а это не обеспечивает стабилизации скорости.[5]

УПРАВЛЯЕМЫЙ СИНХРОННЫЙ РЕЖИМ

Основная проблема при организации управления ВД по дискретным датчикам Холла — слишком большая дискретность поступления информации. Однако, как будет показано далее, этот недостаток вполне

преодолим. Рассмотрим реализацию предлагаемого алгоритма в пределах одного межкоммутационного интервала (МКИ). Начальное положение вектора поля статора для подстановки в (2) может быть сформировано в соответствии с известными законами позиционной коммутации, т.е. выбрано из ряда $\{F_0, F_{60}, F_{120}, F_{180}, F_{240}, F_{300}\}$, где индекс соответствует угловому положению вектора МДС статора. Далее будем вращать вектор статора с заданной скоростью, и предположим, что ротор ВД вращается вслед за полем статора с той же скоростью (установившийся режим). Следующая «контрольная точка» алгоритма наступит либо когда переключится датчик Холла, либо при выполнении условия: $\varphi_{\text{с}} \geq \pi/3$, т.е. когда наступит ожидаемый конец МКИ, назовем этот момент концом «первого контрольного интервала». Очевидно, что в первом случае также выполняется условие $\varphi < \pi/2$ и ток статора необходимо уменьшать, а во втором — выполняется условие $\varphi \geq \pi/2$ и ток статора необходимо увеличивать для достижения условия (4). Алгоритм может быть записан так:

$$\begin{cases} I_{\text{с}} = I_{\text{с}}^{\text{пред}} - k_{\text{П}} \cdot \varphi < \frac{\pi}{2} - \text{переключился датчик Холла;} \\ I_{\text{с}} = I_{\text{с}}^{\text{пред}} + k_{\text{П}} \cdot \varphi \geq \frac{\pi}{2} - \text{середина контрольного интервала;} \end{cases} \quad (5)$$

где $I_{\text{с}}^{\text{пред}}$ — значение тока статора на предыдущем интервале управления;

$k_{\text{П}}$ — коэффициент усиления контура регулирования тока в синхронном режиме.

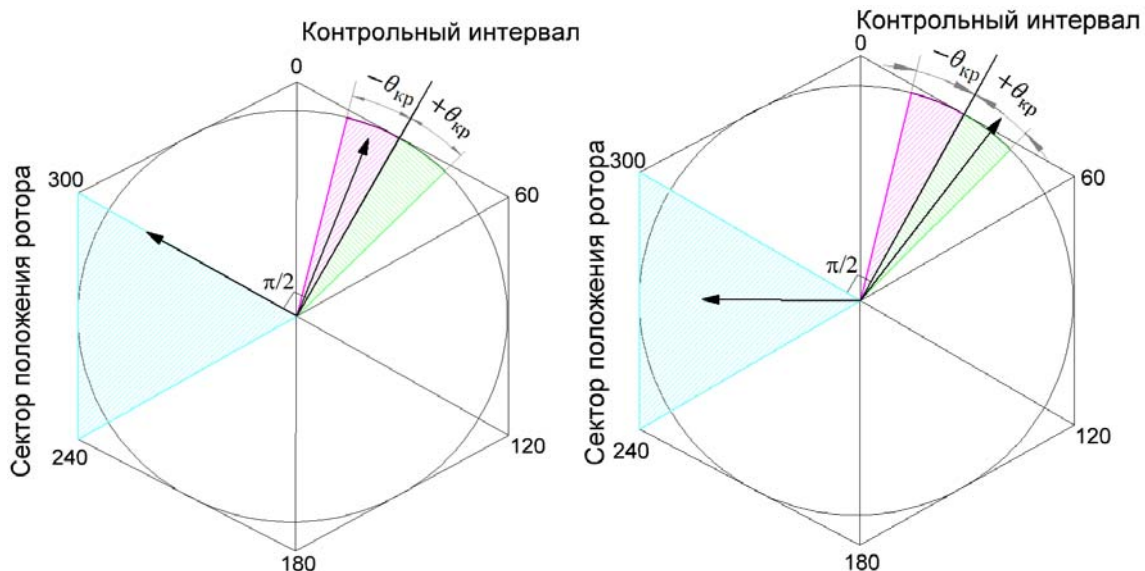


Рис. 1. Управляемый синхронный режим

УПРАВЛЯЕМЫЙ СИНХРОННЫЙ РЕЖИМ В РЕЖИМЕ СИНХРОНИЗАЦИИ

Теперь предположим, что ротор ВД вращается со скоростью, отличающейся от синхронной (переходный

режим, возникший в результате колебаний нагрузки или изменения заданной скорости), или вообще не вращается (пусковой режим). Для классического синхронного привода такой режим соответствует выходу из синхронизма и потере работоспособности. В предлагаемом алгоритме эта проблема решается

переходом в режим, близкий к позиционной коммутации, который может быть назван режимом синхронизации. Допустим, что скорость ротора меньше синхронной, и увеличение тока статора в соответствии с (5) не привело к синхронизации с вращающимся полем статора. Тогда с течением времени угол нагрузки будет увеличиваться и его можно оценить по известному положению вектора поля статора и факту отсутствия переключений датчиков Холла к моменту окончания «второго контрольного интервала», достигаемого при некотором критическом значении угла нагрузки $\varphi_{кр}$. При дальнейшем увеличении угла нагрузки (при выходе за границы второго контрольного интервала) возможно нарушение условия (3), т.е. выход из синхронизма, поэтому в этом случае будем принудительно

синхронизировать поле статора с положением ротора, т.е. принудительно устанавливать начальное значение угла для выражения (2), дополнительно увеличивая значение тока статора при этом. То же самое можно сделать и в том случае, когда скорость ротора больше заданной (режим торможения). Однако это нерационально с точки зрения энергетической эффективности привода. В этом случае гораздо эффективнее использовать режим динамического торможения, вообще не потребляя при этом энергию источника питания. Тогда, чтобы не произошло выхода ЭМП из синхронизма, алгоритм (5) должен быть дополнен:

$$\begin{cases} U_c = 0, \varphi < \frac{\pi}{2} - \varphi_{кр} - \text{датчик Холла переключился слишком быстро;} \\ I_c = I_c^{пр} + k_{I2} \cdot \varphi \geq \frac{\pi}{2} + \varphi_{кр} - \text{окончание контрольного интервала,} \end{cases} \quad (6)$$

где U_c – напряжение на обмотке статора;

k_{I2} – коэффициент усиления контура тока в режиме синхронизации, определяющий время синхронизации. Таким образом, даже если датчики Холла не переключились и на втором контрольном интервале, то информация, необходимая для управления все равно будет получена и ЭМП не выйдет из синхронизма.

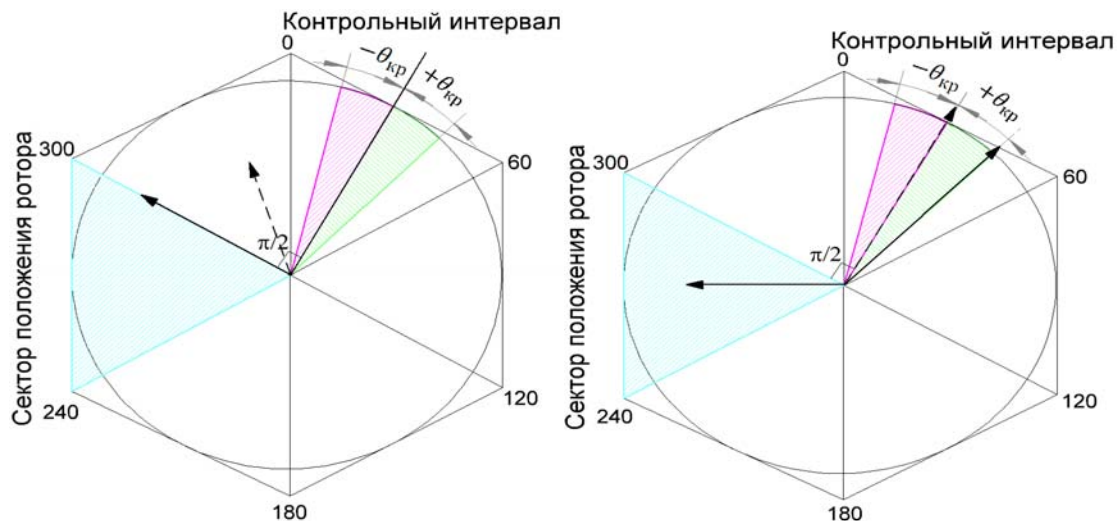


Рис. 2. Управляемый синхронный режим в режиме синхронизации

Подчеркнем, что информация для управления при таком алгоритме будет получена даже в том случае, если ни один из датчиков Холла не переключился на первом контрольном интервале. Также отметим, что изменяя значение заданного угла нагрузки, можно реализовать режим «ослабления поля» в двигателях с магнитоэлектрическим возбуждением, скорректировать неточности установки датчиков Холла, а также подобрать оптимальный угол нагрузки с учетом индуктивности обмотки статора.[3]

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Воронин С.Г. Электропривод летательных аппаратов: Конспект лекций. – Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2006 – Ч.1 – 171с.
2. Кульмухаметова, А.С. Реализация векторного управления и синхронный режим вентильного электродвигателя / А.С. Кульмухаметова, Д.В. Коробатов // сборник трудов конференции «Состояние и перспективы развития электротехнологии»: материалы международной научно-технической конференции в 3 т. – Иваново, ИГЭУ им. В.И. Ленина. – 2013 г. – Т. 3. – С. 111–113.

3. Воронин, С.Г. Сравнительная оценка различных способов управления коммутацией вентильных двигателей по энергетическим показателям и регулировочным свойствам / С.Г. Воронин, Д.А. Курносов, А.С. Кульмухаметова // Вестник ЮУрГУ, Серия Энергетика, 2013 – т.13 – №1 – с.96–103
4. Коробатов, Д.В. Управляемый синхронный режим в аппарате искусственной вентиляции легких / Д.В. Коробатов, А.С. Кульмухаметова, А.А. Шевченко. – Электротехнические комплексы и системы, международный сборник научных трудов, 2012. – №20. – стр. 79–82
5. Воронин, С.Г. Векторное управление синхронными двигателями с возбуждением от постоянных магнитов / С.Г. Воронин, Д.А. Курносов, А.С. Кульмухаметова // Электротехника, 2013. – №10. – С. 50–54